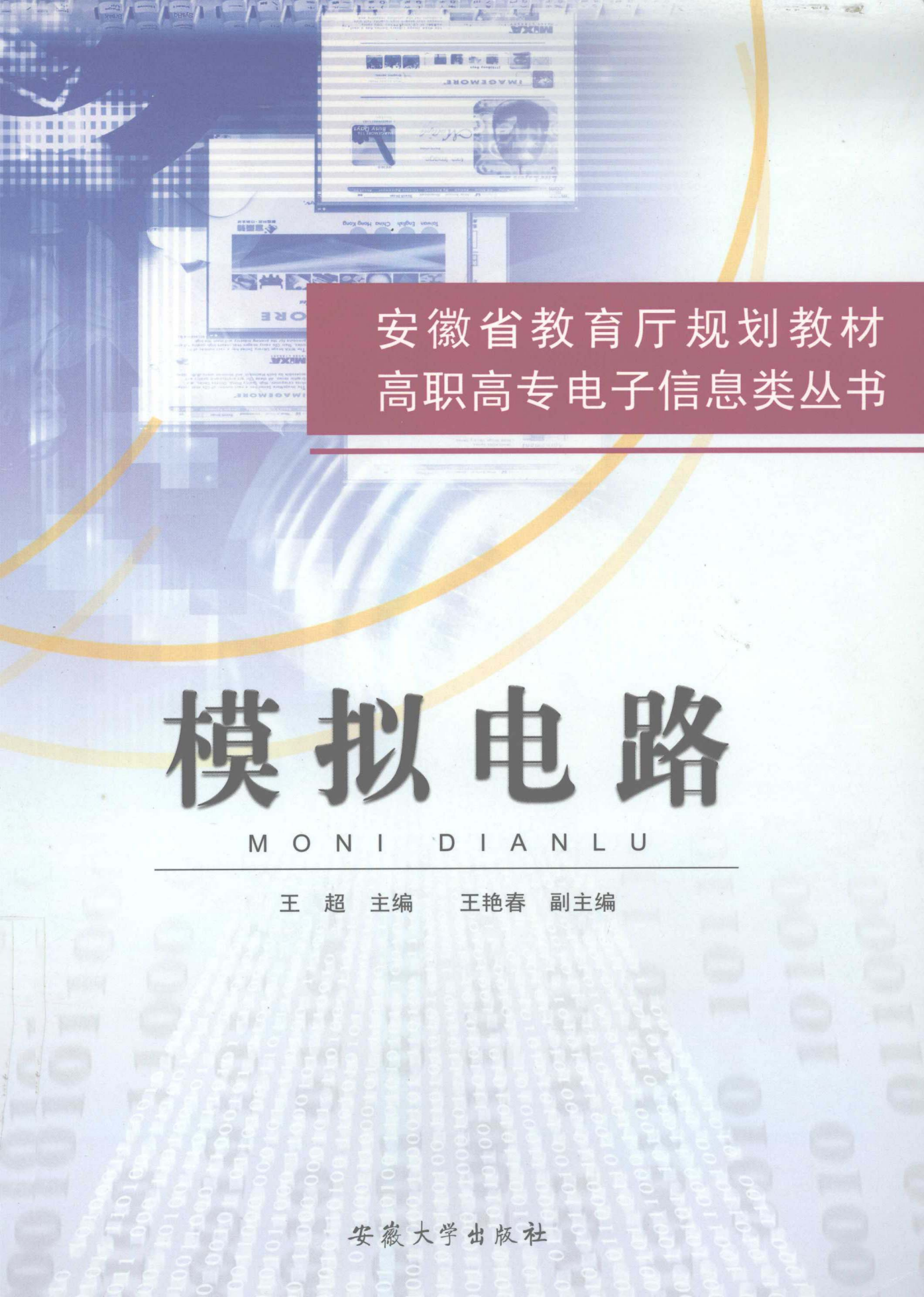




安徽省教育厅规划教材
高职高专电子信息类丛书

模拟电路

M O N I D I A N L U

王 超 主编 王艳春 副主编

安徽大学出版社



安徽省教育厅规划教材
高职高专电子信息类丛书

模拟电路

M O N I D I A N L U

王 超 主编 王艳春 副主编

安徽大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路/王超主编. —合肥:安徽大学出版社,
2006.7
安徽省高职高专电子信息类教材
ISBN 7-81052-969-2
I. 模... II. 王... III. 模拟电路—高等学校:技术
学校—教材 IV. TN710
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 003794 号

模 拟 电 路

王 超 主 编

出版发行 安徽大学出版社
(合肥市肥西路3号 邮编 230039)
联系电话 编辑部 0551—5108348
发行部 0551—5107716
电子信箱 ahdxcbps@mail. hf. ah. cn
责任编辑 钟 蕾
封面设计 孟献辉

印 刷 中国科学技术大学印刷厂
开 本 787×1092 1/16
印 张 13
字 数 316 千
版 次 2006 年 7 月第 2 版
印 次 2006 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-81052-969-2/ T · 113

定价 17.00 元

如有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换



前言

本教材是根据安徽省电子信息类专业有关课程教学大纲会议所拟定、并经编审委员会批准的《模拟电子技术》课程大纲而编写的统编教材。与本书配套的教材有《数字电路》。

教材在内容上力求取材新颖、叙述简练、分析透彻。理论上以够用为原则,多讲方法,即“少讲理、多讲法”。全文以器件及应用为主线,基本理论以能支撑实际应用为度。本教材共分为六章,主要内容有:半导体二极管及其应用、半导体三极管及其应用、多级放大电路与集成运算放大器、负反馈放大电路、功率放大电路、直流稳压电源。在每章后都列举了本章的主要实验内容,可供各学院做实验时参考。

《模拟电路》是电子技术专业的一门重要的专业技术基础课。本课程的任务是使学生掌握电子技术的基础知识和应用,为学习专业课程准备必要的基础。通过本课程的教学,应使学生达到如下基本要求:

1. 熟悉常用无线电元器件的特性和主要参数,具有识别元器件和检测器件的能力,具有会查阅器件手册和正确选用器件的能力。
2. 掌握常用基本单元电路和典型电路的结构、工作原理和功能,对基本单元电路能进行定性分析和工程估算,具有根据需要选择适用电路和使用集成电路的能力。
3. 掌握分析电子电路的基本方法。
4. 具有分析常见的整机电路图能力。
5. 掌握电子技术的基本技能和具有实际操作的能力。

实验部分是对学习本门课程所需达到的实际应用技能的要求及训练。

本书由安徽机电职业技术学院王超主编,蚌埠学院王艳春任副主编。王超编写了第二章,并对全书进行统稿,王艳春编写了第三章,安徽电子信息职业技术学院曹光跃编写了第五章、第六章和附录,芜湖职业技术学院高艳编写了第一章和第四章。

本书在编写过程中得到安徽大学电子学院柴晓冬老师的审阅,他提出了许多中肯和建设性的意见,在此表示诚挚的谢意。本书得到许多兄弟院校的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者理论水平有限,错误或不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2005 年 1 月



内容简介

本书以器件及应用为主线,基本理论以能支撑实际应用为度。主要内容有:半导体二极管及其应用、半导体三极管及其应用、多级放大电路与集成运算放大器、负反馈放大电路、功率放大电路、直流稳压电源。在每章后都列举了本章内容的主要实验内容,可供各学院选择使用。

本书内容简明,文字精练,突出重点,便于自学。

本书可作为高等职业技术学院、专科学校和中专电子、信息类专业教材,也可作为职大、电大等有关专业的培训教材。

目次

第1章 半导体二极管及其基本应用	1
1.1 半导体基本知识	1
1.1.1 半导体及其特性	1
1.1.2 P型半导体和N型半导体	2
1.2 PN结	3
1.2.1 PN结的形成过程	3
1.2.2 PN结的单向导电性	4
1.2.3 PN结的伏安特性及其表达式	5
1.2.4 PN结的结电容	6
1.3 晶体二极管	6
1.3.1 晶体二极管的结构和类型	6
1.3.2 晶体二极管的伏安特性	7
1.3.3 二极管的主要参数	9
1.3.4 晶体二极管的使用常识	10
1.4 晶体二极管的基本应用	11
1.4.1 二极管限幅电路	11
1.4.2 单相桥式整流电路	12
1.5 滤波电路	14
1.5.1 滤波电路的工作原理	15
1.5.2 电容滤波电路	15
1.5.3 电感滤波电路	16
1.5.4 复式滤波简介	17
1.6 倍压整流电路	17
1.6.1 二倍压整流电路	18
1.6.2 多倍压整流电路	18
1.7 稳压二极管	19
1.7.1 稳压二极管及其伏安特性	19
1.7.2 稳压电路	20
第1章小结	21
习题1	21

第2章 晶体管放大电路	24
2.1 双极型晶体管	24
2.1.1 晶体管的结构	24
2.1.2 半导体三极管的电流分配与放大原理	25
2.1.3 晶体管输入输出特性曲线	27
2.1.4 晶体三极管的主要参数	29
2.2 场效应管	30
2.2.1 常用的场效应管及其基本导电规律	30
2.2.2 场效应管的主要参数	37
2.2.3 场效应管的主要特点及使用注意事项	39
2.3 放大电路的基本知识	40
2.3.1 放大电路的概念	40
2.3.2 放大电路的主要性能指标	40
2.4 共发射极基本放大电路	41
2.4.1 共发射极基本放大电路的组成	42
2.4.2 共发射极放大电路的静态分析	43
2.4.3 用图解法分析动态工作情况	45
2.4.4 放大电路的非线性失真	47
2.4.5 微变等效电路分析法	49
2.5 稳定静态工作点的放大电路	51
2.5.1 温度对静态工作点的影响	51
2.5.2 稳定静态工作点放大电路的分析	52
2.6 基本放大电路的三种组态	55
2.6.1 共集电极放大电路	55
2.6.2 共基极放大电路	57
2.6.3 三种放大电路的比较	58
2.7 场效应管放大电路	60
2.7.1 静态分析	60
* 2.7.2 场效应管放大电路的微变等效电路	62
2.8 单管放大电路的频率响应	64
2.8.1 频率特性的基本概念	64
2.8.2 单管放大电路的频率响应	65
第2章小结	66
习题2	67
实验1 二极管、晶体管的简易测试	72
实验2 单管共射交流放大器	75
实验3 射极输出器	77

第3章 多级放大电路与集成运算放大器	79
3.1 多级放大电路	79
3.1.1 多级放大电路的组成及其级间耦合方式	79
3.1.2 多级放大器的分析	81
3.2 差动放大电路	83
3.2.1 差动放大电路的工作原理	83
3.2.2 差动放大电路的四种接法	87
3.2.3 差动放大电路的改进	90
3.3 集成运算放大器	90
3.3.1 集成运算放大器组成及典型结构	91
3.3.2 集成运算放大器主要参数	93
3.3.3 集成运算放大器电压传输特性	95
3.4 集成运放的线性应用	96
3.4.1 反相比例运算	97
3.4.2 同相比例运算	97
3.4.3 加法与减法运算	98
3.4.4 积分与微分运算	101
3.4.5 有源滤波器	103
3.5 集成运放的非线性应用	106
3.5.1 单值电压比较器	106
3.5.2 迟滞电压比较器	108
* 3.6 集成运放使用中的实际问题	110
3.6.1 选择原则	110
3.6.2 注意问题	111
3.6.3 专用运放	113
第3章小结	114
习题3	115
实验4 差动放大器特性的测试	121
实验5 集成运放的线性应用	123
实验6 集成运放的非线性应用	127
第4章 负反馈放大电路	129
4.1 反馈的基本概念	129
4.1.1 反馈的概念	129
4.1.2 反馈放大电路的组成及基本关系式	130
4.2 负反馈放大电路的基本类型及分析方法	132
4.2.1 负反馈放大电路的基本类型	132
4.2.2 负反馈放大电路的分析	133

4.3 负反馈对放大电路性能的影响	136
4.3.1 提高增益的稳定性	136
4.3.2 减小放大电路引起的非线性失真	137
4.3.3 扩展通频带	138
4.3.4 改变放大电路的输入和输出电阻	138
4.4 负反馈放大电路应用中的几个问题	140
4.4.1 放大电路引入负反馈的一般原则	140
4.4.2 深度负反馈放大电路的特点及性能估算	140
4.4.3 负反馈放大电路的稳定性	143
第4章小结	144
习题4	145
实验7 负反馈放大电路的测量	147
第5章 功率放大电路	150
5.1 概述	150
5.1.1 功率放大器的特点	150
5.1.2 功率放大器的分类	151
5.2 常用的功率放大器	152
5.2.1 乙类双电源互补对称功率放大器	152
5.2.2 甲乙类互补对称功率放大器	155
5.2.3 甲乙类单电源互补对称功率放大器(OTL)	157
5.3 集成功率放大器	159
5.3.1 集成功率放大器电路分析	159
5.3.2 集成功率放大器主要性能指标	160
5.3.3 集成功率放大器应用	160
第5章小结	161
习题5	162
实验8 甲乙类 OTL 互补对称输出级的测试	164
第6章 直流稳压电源	167
6.1 概述	167
6.2 串联型稳压电源	168
6.2.1 串联型稳压电源工作原理	168
6.2.2 串联型稳压电源主要性能指标	169
6.2.3 串联型稳压电源保护电路	170
6.3 线性集成稳压电路	171
6.3.1 三端固定输出集成稳压器	172
6.3.2 三端可调输出集成稳压器	174
* 6.4 开关集成稳压电源	175

6.4.1 开关集成稳压电源工作原理.....	175
6.4.2 集成开关稳压器及其应用.....	177
第6章小结.....	179
习题6.....	179
实验9 集成直流稳压电源的调整与测试.....	182
附录 电子设计自动化软件 EWB 的应用.....	184
A1 EWB 的基本使用方法.....	184
A2 模拟电子电路的仿真实验.....	191

第1章 半导体二极管及其基本应用

导 言

在电子工业技术的发展史上,由于半导体不是良好的导电材料,也不是很好的绝缘体,所以长期没有受到关注。直到1947年,人们才发现了半导体的一些特殊性质,同时制成了第一只晶体三极管,并逐渐取代了耗电量大、体积笨重的真空电子管,这才促进了电子技术的飞跃发展,人们称之为电子学领域的二次革命。在这个基础上进一步发展起来的集成电路技术,把电子产品的小型化和高可靠性大大向前推进,并在国民经济各个领域获得了广泛的应用。现在,半导体与我们的日常生活密切相关,从家用电器的收录机、电视机,到企业生产中用的数控机床、微型计算机和机器人以及办公用品复印机等等,都离不开半导体制成的器件。可以说半导体是电子工业的标志,电子工业水平又是现代化的一个重要标志。

本章主要讨论二极管的内部结构、单向导电性、单相桥式整流电路和限幅电路等。

1.1 半导体基本知识

1.1.1 半导体及其特性

自然界中存在着各种不同性质的物质,我们按照导电能力的强弱,可以把物质分为导体、绝缘体和半导体。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质叫做半导体。

半导体材料有硅、锗、硒和砷化镓以及金属氧化物和硫化物等。常用的半导体材料(如硅和锗),使用时都要经过特殊工艺处理。半导体在电子技术中得到广泛的应用,并不在于它导电能力的大小,而是因为他们的导电性能会随外界条件的不同发生明显的变化,并可以人为地加以控制。这些特性主要有以下几个方面:

1. 光敏性

某些半导体在受到光照时导电能力有明显的增强。例如硫化镉半导体薄膜,在没有光照时,电阻高达几十兆欧;受到光照射时,电阻可降至几十千欧,相差几千倍。利用半导体的这个特性可制成各种光敏元件,如光敏电阻、光电二极管、发光二极管和太阳能电池等。

2. 热敏性

某些半导体对温度的变化反应很灵敏,其导电能力随环境温度升高而增强。例如锗,温度每升高 10°C ,它的电阻率就会减少到原来的一半左右。利用半导体的这个特性可以制成各种热敏元件,如各种自动控制装置中常用的热敏电阻传感器和能迅速测量物体温度变化的半导体体温计等。

3. 杂敏性

在本征半导体中掺入微量的其他元素,就可以使半导体的导电能力大大增加。例如在本征硅中掺入亿分之一的硼元素,其导电能力可以增加两万以上。人们正是通过掺入不同种类和数量的杂质元素,来非常精确地控制半导体的导电性能,制成各种不同类型的半导体器件,如二极管、三极管、晶闸管、场效应管和各种集成电路等。

半导体可以分为本征半导体和杂质半导体。高度提纯、晶体结构完整的单晶半导体叫做本征半导体。本征半导体中的载流子有自由电子和空穴两种,它们是在热或光照作用下成对产生,也叫作电子空穴对。由于两者电荷量相等,极性相反,所以本征半导体呈电中性。本征半导体在室温下受热激励,称为热激发或本征激发。

1.1.2 P 型半导体和 N 型半导体

由于本征激发产生的载流子数目有限,因而本征半导体的导电能力很弱。为了提高本征半导体的导电能力,在本征半导体中掺入微量的杂质元素,就制成了杂质半导体。根据掺入的杂质元素不同,杂质半导体可以分为 N 型半导体和 P 型半导体。

1. N 型半导体

在本征半导体硅或锗中掺入微量的五价元素例如磷或锑,就可以使自由电子的浓度大大增加,自由电子成为多数载流子,空穴成为少数载流子。这种半导体以自由电子导电为主,所以称为电子型半导体,简称 N 型半导体。

2. P 型半导体

在本征半导体硅或锗中掺入微量三价元素例如硼或镓,就可以使空穴的浓度大大增加,空穴成为多数载流子,而电子成为少数载流子。这种半导体以空穴导电为主,所以称为空穴型半导体,简称 P 型半导体。

图 1-1 所示为 N 型半导体和 P 型半导体中载流子和杂质离子的示意图,图中 $\oplus$ 表示杂质原子,因为提供了一个价电子而成为带正电荷的离子(正离子); $\ominus$ 表示杂质原子,因为提供了一个空穴而成为带负电荷的离子(负离子),这些离子不能移动,不能参与导电。

掺杂后的半导体的导电能力显著增强,通过理论计算可以知道,若在本征半导体中掺入百万分之一的杂质,其载流子的浓度将增加近一百万倍。

在杂质半导体中,多数载流子的浓度主要取决于杂质的含量;少数载流子的浓度主要与温度有关,它对温度的变化非常敏感,其大小随温度的升高基本上按指数规律增大。因此温

度是影响半导体器件性能的一个重要因素。

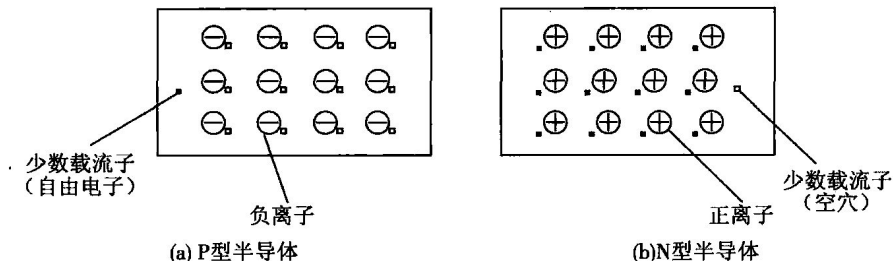


图 1-1 P 型半导体及 N 型半导体

值得注意的是,无论是 N 型半导体还是 P 型半导体,尽管它们各自都有一种载流子占多数,但是整个半导体仍然呈电中性。

1.2 PN 结

1.2.1 PN 结的形成过程

采用特定的掺杂工艺使一块本征半导体的一边形成 P 型半导体,而另一边形成 N 型半导体,这样在两种半导体交界面就形成了“PN 结”。下面我们首先来讨论 PN 结形成的物理过程。

1. 载流子的扩散运动

在电中性的半导体中,当同一种载流子的浓度有差别时,载流子将从浓度较高的区域向浓度较低的区域运动,这种运动叫“扩散运动”。由载流子扩散运动形成的电流叫扩散电流。

P 型和 N 型半导体就同一种载流子(空穴或电子)而言,其浓度存在很大差别。P 区的多数载流子空穴的浓度大大高于 N 区,而 N 区的多数载流子电子的浓度大大高于 P 区。由于在交界面两侧存在两种载流子的浓度差,使多数载流子产生扩散运动。P 区的空穴向 N 区扩散,N 区的电子向 P 区扩散。如图 1-2 所示。

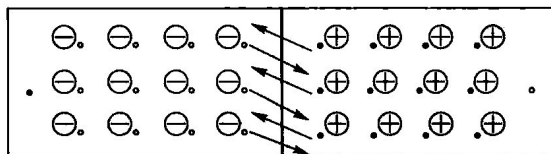


图 1-2 多数载流子的扩散运动

2. 内电场的建立

当载流子通过两种半导体的交界面后,在交界面附近的区域里,P 区的空穴与 N 区的电子复合而消失。扩散运动的结果破坏了 P 区和 N 区交界面附近的电中性,在 P 区的一边由于失去空穴,留下不能移动的负离子;在 N 区一边由于失去电子,留下不能移动的正离子

子,如图 1-3 所示。这些不能移动的正负离子所在的区域称为“空间电荷区”。空间电荷区中的正负离子建立了由 N 区指向 P 区的电场,为了与外加电压建立的电场区别,把这个电场称为“内电场”。如图 1-3 所示。

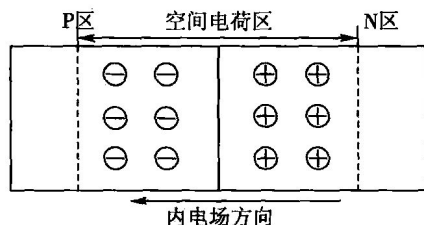


图 1-3 PN 结的内电场

3. 载流子的漂移运动

随着多数载流子扩散运动的进行,空间电荷区加宽,内电场加强,它将阻碍多数载流子的扩散。同时,内电场又推动 P 区的少数载流子(电子)向 N 区运动,N 区的少数载流子(空穴)向 P 区运动。这种在内电场作用下的少数载流子的运动称为“漂移运动”,漂移运动的结果使空间电荷区变窄,内电场削弱。

4. PN 结的形成

多数载流子的扩散运动和少数载流子的漂移运动是相互联系又相互对立的两个方面,多数载流子在浓度差的作用下产生扩散运动,使空间电荷区加宽,内电场增强;而内电场的建立和增强又阻碍多数载流子的扩散,促进少数载流子的漂移运动,使空间电荷区变窄,内电场减弱。这样相互制约,相互促进,最后多数载流子的扩散运动和少数载流子的漂移运动将达到“动态平衡”。所谓动态平衡是指单位时间内,有多少多数载流子扩散到对方区域,同时对方区域就有同样数量的少数载流子漂移回来。载流子的扩散和漂移时刻都在进行着,但从宏观上看,流过 PN 结的载流子数为零。或者说,由于扩散电流和漂移电流方向相反,流过 PN 结的净电流为零,至此稳定的 PN 结就形成,其厚度为几微米。

由于 P 区和 N 区多数载流子扩散到对方复合消失,所以又把空间电荷区称为“耗尽层”;又因为内电场阻碍多数载流子的扩散,因此也将空间电荷区称为“势垒区”或“阻挡层”。

1.2.2 PN 结的单向导电性

无外加电压时,PN 结是平衡的,无宏观电流;若外加正向或反向电压时,PN 结对外呈现的性能截然不同。

1. PN 结正向偏置

通常将加在 PN 结上的电压称为偏置电压,若 PN 结外加正向电压(P 区接电源的正极,N 区接电源的负极)称为正向偏置,简称正偏,如图 1-4(a)所示。这时外加电压 U_F 在 PN 结上形成外电场,其方向与内电场方向相反,使空间电荷区变窄,于是多数载流子的扩散运动增强,形成较大的扩散电流 I_F ,其方向由 P 区流向 N 区,称为正向电流。在一定范围

内,外加电压越大,正向电流越大,PN 结呈低阻导通状态,相当于开关闭合。为了限制过大的正向电流,回路中应该串入限流电阻。

2. PN 结反向偏置

若 PN 结外加反向电压(P 区接电源的负极,N 区接电源的正极)称为反向偏置,简称反偏。这时电压 U_F 在 PN 结上形成外电场,其方向与内电场方向相同,使空间电荷区变宽,于是多数载流子的扩散运动难以进行。此时流过 PN 结的电流,主要由少数载流子的漂移运动形成,其方向由 N 区流向 P 区,称为反向电流 I_S 。在常温下少数载流子的浓度很低,所以反向电流很小,一般可以忽略,PN 结呈高阻截止状态,相当于开关断开,如图 1-4(b)所示。

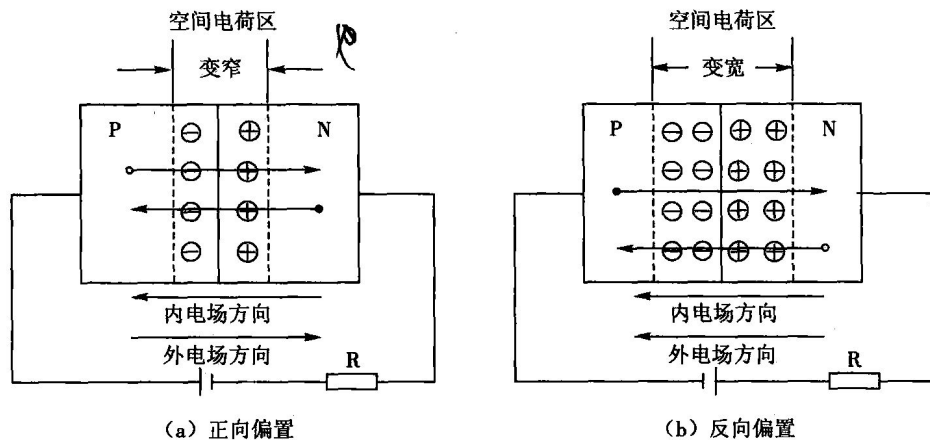


图 1-4 PN 结的单向导电性

PN 结正向偏置时呈导通状态,正向电阻很小,正向电流很大;PN 结反向偏置时呈截止状态,反向电阻很大,反向电流很小,这就是 PN 结的单向导电性。需要指出的是,由于少数载流子是由热激励产生的,在一定温度下,反向电流很小且基本上不随外加反向电压的变化而变化,故称为反向饱和电流。但当温度升高时,载流子的数目也将增加,因此 PN 结的反向饱和电流随温度的上升而增大。所以我们在使用半导体器件时,必须考虑温度的影响。

1.2.3 PN 结的伏安特性及其表达式

根据理论分析,PN 结两端的外加电压与流过它的电流间的函数关系可用下式表示。

$$I = I_S(e^{U/U_T} - 1) \quad (1.1)$$

式中 U : PN 结两端外加电压,参考方向为 P 指向 N;

I_S : 流过 PN 结的反向电流,在数值上等于 PN 结的反向饱和电流;

U_T : 温度电压当量, $U_T = kT/q$, 其中 k 为玻耳兹曼常数, T 是绝对温度, q 是电子的电荷量,在室温时(即 $T=300K$ 时), $U_T \approx 26mV$ 。

当 PN 结正偏时,若 $U \gg U_T$, 由式(1.1)可以得出 $I \approx I_S e^{U/U_T}$, 即正向电流 I 与正向电压 U 之间成指数关系;当 PN 结反偏时, U 为负值,且 $|U| \gg U_T$ 时, $e^{U/U_T} \approx 0$, $I \approx -I_S$, 即 PN 结的电流等于反向饱和电流。

1.2.4 PN 结的结电容

PN 结的电荷量随外加电压的变化而变化,表明 PN 结具有电容的效应。按照产生的原因不同,这种效应包括势垒电容和扩散电容两部分。

势垒电容是由空间电荷区的变化引起的。例如,当外加反向电压增加时,空间电荷区变宽,即空间电荷增加;当外加反向电压减小时,空间电荷区变窄,空间电荷减小。PN 结中的电荷随外加电压的变化而变化时,就显示了电容效应,这个电容称为势垒电容。

扩散电容是由多数载流子在扩散过程中的积累引起的。当 PN 结外加正向电压时,P 区内的空穴大量地向 N 区扩散,在扩散过程中,不断地与 N 区的电子复合,直至复合完毕。因此,注入 N 区的空穴,在结的边缘处浓度大,离结远的地方浓度小,也即在靠近结的 N 区的一段范围内积累了按一定浓度分布的空穴。同理,在靠近结的 P 区的一段范围内积累了按一定浓度分布的电子。当外加正向电压增大时,扩散运动增强,PN 结两侧积累的空穴、电子增多;反之则 PN 结两侧积累的空穴、电子减少。可见在扩散过程中,PN 结两侧多数载流子的积累随外加电压变化而改变,也显示了一种电容效应,称为扩散电容。

势垒电容和扩散电容是同时存在的。不过,当 PN 结正向偏置时,扩散电容远大于势垒电容;而反向偏置时,载流子数目很少,因此扩散电容数值很小,此时主要是势垒电容。扩散电容和势垒电容的大小都随外加电压的变化而变化,它们都是非线性电容,而且数值都较小,一般为几个皮法至几十个皮法,对低频影响不大,但工作频率很高时,就必须考虑结电容的作用。

1.3 晶体二极管

1.3.1 晶体二极管的结构和类型

在一个 PN 结的两端,各引一根电极引线,并用外壳封装起来,就构成了晶体二极管(或称半导体二极管,简称二极管)。由 P 区引出的电极称为阳极(正极),N 区引出的电极称为阴极(负极)。二极管的图形符号和文字符号如图 1-5 所示。

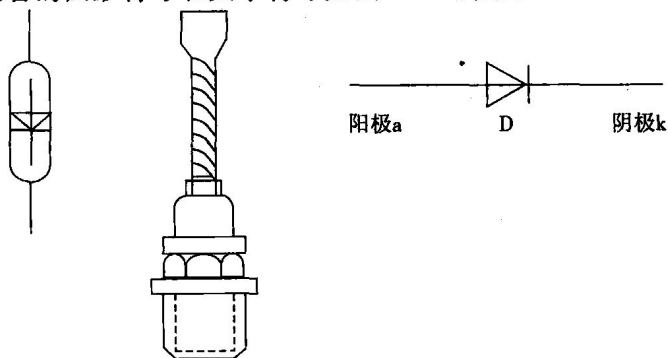


图 1-5 常用二极管的外形以及晶体二极管的电路符号和文字符号

二极管的种类很多,按制造材料分,有硅二极管和锗二极管;按用途分,有整流二极管、稳压二极管、开关二极管和普通二极管等;按结构工艺分,有点接触型和面接触型等。

点接触型二极管的结构如图 1-6(a)所示,它是由一根金属丝与半导体表面相接触,经过特殊工艺,在接触点上形成 PN 结,做出引线,加上管壳封装而成。其突出优点是 PN 结面积很小,结电容很小,一般在 μF 以下,因此工作频率很高,可达 100MHz 以上。其缺点是不能承受较高的正向电压和较大的正向电流。因此点接触型二极管多用于高频检波以及在脉冲数字电路中作开关元件。

面接触型二极管的结构如图 1-6(b)所示,它能够通过较大的正向电流,而且反向击穿电压高,工作温度也较高,所以多用在低频整流电路中。

图 1-6(c)是硅工艺平面型二极管的结构图,是集成电路中常见的一种形式。

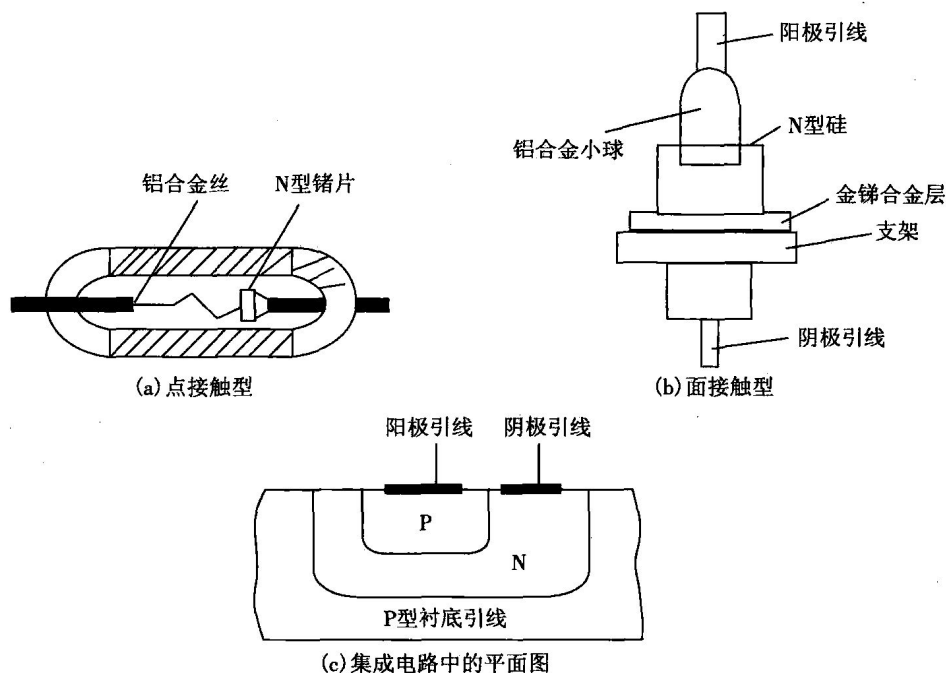


图 1-6 晶体二极管的结构

1.3.2 晶体二极管的伏安特性

二极管的核心就是一个 PN 结,所以它的伏安特性方程和 PN 结基本相同,只是由于二极管引线电阻、半导体体电阻和表面漏电流的影响,才略有区别,不过在定量计算时一般仍可用式(1.1)来近似描述二极管的伏安关系。

1. 二极管的伏安特性曲线

硅管和锗管的伏安特性曲线如图 1-7 所示,它与式(1.1)描绘的伏安特性有一定的偏差。下面对特性曲线分为四部分来说明。

(1) 死区

当二极管外加正向电压比较小时,外电场还不足以克服内电场对多数载流子扩散运动